

## Management hochautomatisierter hybrider Systeme: das Beispiel der Pilotenarbeit

Weyer, Johannes

Veröffentlichungsversion / Published Version  
Sammelwerksbeitrag / collection article

### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Weyer, J. (2008). Management hochautomatisierter hybrider Systeme: das Beispiel der Pilotenarbeit. In K.-S. Rehberg (Hrsg.), *Die Natur der Gesellschaft: Verhandlungen des 33. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Soziologie in Kassel 2006. Teilbd. 1 u. 2* (S. 4633-4643). Frankfurt am Main: Campus Verl. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-154710>

### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

# Management hochautomatisierter hybrider Systeme. Das Beispiel der Pilotenarbeit

*Johannes Weyer*

## Einleitung: Systemtransformation durch autonome Technik?

Ein neuer Typus von Technik dringt scheinbar unaufhörlich in alle Bereiche der Arbeits- und Lebenswelt vor: Technik, die autonom agiert, die sich mit anderen Systemkomponenten vernetzt und mit ihnen Informationen austauscht, die zudem kontextsensitiv ist, das heißt, mit Inputs operiert, die sie mittels Sensoren selbsttätig aus ihrer Umwelt gewinnt. Autonome Systeme haben mittlerweile eine enorme Leistungsfähigkeit gewonnen, was zu einem erheblichen Rationalisierungs- und Technisierungsschub geführt hat. Gerade bei komplexen und sicherheitsrelevanten Prozessen zum Beispiel im Bereich des Verkehrswesens wird der Mensch als eine Quelle von Unsicherheit ausgeschaltet und durch »intelligente« Technik ersetzt.

Kontextsensitive und interaktive Technik ermöglicht bereits jetzt situationsangepasste Reaktionen, wenn zum Beispiel der Bremsassistent im Auto die Situation schneller als ein Mensch erfasst und den Bremsvorgang vorbereitet bzw. ausführt. Derartige Prozesse vollziehen sich lautlos und hinter unserem Rücken – so die seit gut zehn Jahren propagierte Vision des »Pervasive Computing« bzw. »Ubiquitous Computing«, die mittlerweile in vielen Bereichen bereits in die Praxis umgesetzt wird. Die alles durchdringende Verwendung der Computertechnik kann so zu einer schleichenden Veränderung von Entscheidungskonstellationen beitragen, die sich sowohl in professionellen als auch alltäglichen Kontexten bereits zur Selbstverständlichkeit geworden ist und sich der bewussten Wahrnehmung und Reflexion entzieht.

Der Mensch als Entscheider wird dabei schrittweise verdrängt, gilt er doch als eine potenzielle Störquelle, die es zu eliminieren gilt, wenn man eine hundertprozentige Systemsicherheit erreichen will. Wenn intelligente und miteinander vernetzte Technik die Systeme vollautomatisch steuert, wird der Mensch in einem derartigen Szenario auf reine Überwachungstätigkeiten und Lückenbüßerfunktionen reduziert, wie beispielsweise in modernen Verkehrsflugzeugen, wo der Pilot zum Beobachter einer hochautomatisierten Anlage degradiert worden ist, die überwiegend vom Auto-Piloten gesteuert wird.

Damit entstehen immer mehr hybride Konstellationen, die von menschlichen Akteuren und (teil-)autonomen Maschinen bevölkert sind, die nebeneinander, miteinander, teils aber auch gegeneinander agieren.

Die gegenwärtig sich vollziehende Einführung und flächendeckende Verbreitung »intelligenter« Technik markiert einen Umbruch im Verhältnis von Mensch und Technik, denn »smarte« Agenten-Systeme verfügen – im Gegensatz zu allen Vorläufer-Technologien – scheinbar über die Fähigkeit zu handeln, das heißt, Aktionen in einer Weise durchzuführen und zu bewerten, wie sie bislang dem Menschen vorbehalten war. Begriffe wie »Autonomie« oder »Interaktivität«, die in der Debatte um Agenten-Systeme einen prominenten Status besitzen, werfen die Frage nach der Handlungsträgerschaft von Technik auf (vgl. Rammert/Schulz-Schaeffer 2002).

Mit dem Hinzutreten handlungsfähiger technischer Systeme – so die hier vertretene These – verändert sich das Verhältnis Mensch-Technik grundlegend, denn der menschliche Bediener einer Maschine kann nicht mehr davon ausgehen, dass diese als willfähiges Instrument fungiert, welches sich – im Prinzip – durch Anweisungen und Programme präzise steuern lässt. Aus einem instrumentellen Verhältnis zu Technik wird vielmehr schrittweise ein interaktives Verhältnis, das die Technik zu einem Partner und Mitentscheider in kooperativen Prozessen macht, die sich in verteilten, hybriden Systemen abspielen. Es ist also zu vermuten, dass sich nicht nur unser Verständnis von Interaktion, sondern auch unser Konzept von System-Steuerung grundlegend verändern wird, wenn »intelligente« Technik im Spiel ist.

Der folgende Beitrag geht insbesondere der Frage nach, welche Auswirkungen das Vordringen autonomer Technik auf der Meso-Ebene der System-Steuerung hat und geht damit über die – in der Debatte bislang vorherrschende – Fokussierung auf die Mikro-Ebene der Mensch-Maschine-Interaktion hinaus. Er vertritt die These, dass der Einsatz »intelligenter« Technik zu einer schleichenden Systemtransformation führen wird, die die Rollen von Mensch und Technik, aber auch die Formen der Governance grundlegend verändern wird. Wurde neue Technik bislang vorrangig unter der Perspektive entwickelt und eingesetzt, auf diese Weise die Handlungsoptionen und die Performance des individuellen Entscheiders zu verbessern (z.B. durch Navigationssysteme im Pkw), so beinhaltet die Vernetzung derartiger Geräte zu flächendeckenden Systemen eine neue Qualität, die zu einer schleichenden Systemtransformation führen kann. Denn es eröffnen sich mittlerweile neuartige Formen der System-Steuerung, beispielsweise die elektronische Koordination von Verkehrsteilnehmern mittels autonomer Agenten, die untereinander Lösungen dezentral aushandeln oder aber als Agenten eines Mega-Systems fungieren, das eine zentrale Verkehrssteuerung vornimmt. Voraussetzung für derartige Zukunftsszenarien eines vernetzten Verkehrs ist die Installation »intelligenter« Technik an Bord eines jeden Verkehrsteilnehmers (Flugzeug, Fahrzeug, Schiff etc.).

Die Luftfahrt war oftmals Vorreiter bei der Entwicklung und Erprobung innovativer Technik (z.B. bei der Fly-by-wire-Steuerung, die als Drive-by-wire mittlerweile in den Straßenverkehr Einzug hält). Hier finden zurzeit auch Experimente mit neuen Formen des Managements und der Steuerung komplexer, hochautomatisierter Systeme statt, die insofern hybriden Charakter haben, als Entscheidungen im Verbund von Menschen und (teil-)autonomer Technik getroffen werden.

## Hybride Systeme

Mit der Verbreitung »intelligenter« Technik ist insofern eine neue Situation entstanden, als erstmals das bisherige Monopol des Menschen tangiert wird, Entscheidungen zu fällen, das heißt, Handlungen zu planen, auszuführen und zu bewerten (vgl. auch Weyer 2005, 2006b). Es gibt mittlerweile eine Vielzahl von Konstellationen, in denen Menschen und technische Geräte Entscheidungen gemeinsam durchführen. Klaus-Peter Timpe und andere haben am Berliner Zentrum Mensch-Maschine-Systeme eine Taxonomie entwickelt (vgl. Schaubild 1), die von der manuellen Kontrolle bis zur Voll-Automation reicht und interessante Zwischenstufen verteilten Handelns enthält, zum Beispiel den Modus 5 »Entscheidungsunterstützung«, in dem der Computer den Vorschlag ausführt, wenn der Mensch ihn bestätigt, oder den Modus 6 »Gemischte Entscheidung«, in dem der Mensch durch sein Veto eine automatische Ausführung verhindern kann (Timpe/Kolrep 2002: 47f.).

Automatisierungsstufe		Monitoring	Generating	Selecting	Implementing	Systemmerkmale
1	Manual Control	H	H	H	H	Der Computer bietet keine Unterstützung an
2	Action Support	H/C	H	H	H/C	... bietet eine vollständige Menge von Handlungsalternativen an.
5	Decision Support	H/C	H/C	H	C	... führt den Vorschlag aus, wenn der Mensch es bestätigt.
6	Blended Decision Making	H/C	H/C	H/C	C	... erlaubt dem Menschen ein Veto einzulegen, um eine automatische Ausführung zu verhindern.
8	Automated Decision Making	H/C	H/C	C	C	... informiert ihn über die Ausführung nur wenn er anfragt.
10	Full Automation	C	C	C	C	... handelt autonom und ignoriert den Menschen.

Schaubild 1: Automatisierungsstufen

Menschen und Maschinen wirken also bei der Generierung von Entscheidungen zusammen, so dass im Einzelfall kaum noch unterscheidbar ist, wer ein Auto steuert (der Mensch, das ESP-System oder beide gemeinsam) oder wer ein Flugzeug fliegt (der Pilot, der Autopilot oder beide gemeinsam; vgl. Rammert 2002). Effekte wie das erfolgreiche Meistern eines Störfalls (z.B. Glatteis in der Kurve) können nicht mehr eindeutig dem Menschen bzw. der Technik zugerechnet werden, sondern ergeben sich aus dem Zusammenspiel der beiden Teile (vgl. Herrtwich 2003). Insbesondere im Fall nicht-geschulter Bediener muss es dabei dem Menschen nicht immer vollständig klar sein, wie der konkrete Effekt des verteilten Handelns zustande kommt und welchen Anteil er/sie daran hat. Man verlässt sich auf funktionierende Technik und die in ihr enthaltenen kausalen Simplifikationen (vgl. Luhmann 1990). Aber auch geschulte Experten (z.B. Piloten) werden immer wieder von unerwarteten Effekten überrascht.

Eine derartige Beteiligung von Technik an Entscheidungsprozessen ist höchst voraussetzungsvoll. Denn die »Intelligenz« von Technik ergibt sich nicht aus der reinen Rechenleistung der Computer, sondern vor allem aus der gesteigerten Fähigkeit technischer Geräte, mittels ausgefeilter Sensorik ihre Umgebung wahrzunehmen und die sich dort befindenden Objekte zu identifizieren, um auf dieser Grundlage ein situations- und kontextgerechtes Verhalten zu generieren.

Kontextsensitive Geräte, die über die Fähigkeit der »Situational awareness« verfügen, sind also zu autonomen Entscheidungen in der Lage; sie können beispielsweise ein Fahrzeug derart steuern, dass eine Kollision mit einem anderen Fahrzeug vermieden wird. »Intelligente« Technik ist damit in der Lage, Effekte zu erzielen, die für einen externen Beobachter nicht mehr von den Effekten menschlichen Handelns unterscheidbar sind.

Durch das Zusammenwirken von menschlichen Entscheidern und (teil-)autonomer Technik entstehen hybride Systeme, deren Funktionsweise sich von konventionellen technischen Systemen unterscheidet. Welche Auswirkungen der Einsatz autonomer Technik auf der Ebene der Steuerung des Systems »Luftverkehr« hat, soll die folgende Fallstudie zeigen.

### Fallstudie »Traffic Alert and Collision Avoidance System«

In der Nacht des 1. Juli 2002 stießen über dem Bodensee bei Überlingen zwei Flugzeuge zusammen, die beide mit einem »intelligenten« Kollisionsvermeidungssystem namens TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) ausgerüstet waren, das derartige Zwischenfälle eigentlich zuverlässig vermeiden sollte. Neben einer Reihe menschlicher Fehler, unverantwortlicher Schlampereien, organisationaler

Versäumnisse etc., die Ähnlichkeiten mit anderen Unfällen aufweisen, stellte sich als eine zentrale Unglücksursache bei den folgenden Untersuchungen heraus, dass die Piloten der russischen Maschine widersprüchliche Anweisungen erhalten hatten: Während das TCAS-System, das sich automatisch mit der anderen Maschine koordinierte, empfahl, in den Steigflug zu gehen, gab der Fluglotse am Boden genau das entgegengesetzte Kommando, nämlich eine Sinkflug-Anweisung. Der tiefere Grund für diese Verwirrung am nächtlichen Himmel waren widersprüchliche Governance-Strukturen, für die in dem extrem knappen Zeitraum von lediglich 50 Sekunden, die dem Fluglotsen und der Crew für das Störfallmanagement blieben, keine Lösungen gefunden werden konnten.

Die Steuerung des Luftverkehrs basiert seit den 1960er Jahren auf einem hierarchischen Modus der zentralen Kontrolle, die vom Fluglotsen exekutiert wird und der die Piloten blind folgen müssen (vgl. detailliert Deuten 2003). Blind im wahrsten Sinne des Wortes, denn ein Pilot hatte bis zur Einführung von TCAS an Bord des Flugzeugs keinerlei Instrumente, mittels deren er sich ein eigenes Lagebild hätte verschaffen können. Vor dem Hintergrund einer Zunahme der Beinahe-Kollisionen in überfüllten Lufträumen sowie einiger tragischer Unglücke in den USA in den 1970er Jahren wurde eine Art Nahbereichs-Kollisionsschutz für Flugzeuge entwickelt, die unter dem Namen TCAS seit 1994 in den USA und seit 2000 in Europa zur Pflichtausstattung von Verkehrsflugzeugen gehört und die Piloten immer dann warnt, wenn eine gefährliche Annäherung droht. TCAS verschafft dem Piloten also erstmals ein unabhängiges Lagebild (allerdings nur für einen beschränkten Radius) und erlaubt eine dezentrale Koordination zwischen zwei Flugzeugen im Luftraum, die ihre Ausweichmanöver autonom miteinander abstimmen und dabei den Fluglotsen ignorieren. (Es gibt bislang keine automatische Datenübertragung, die dem Fluglotsen die TCAS-Informationen übermittelt; dies geschieht meist per Sprechfunk – ein Kommunikationskanal, der vor allem in Stress-Situationen unzuverlässig ist.)

TCAS kann als ein hochentwickeltes technisches Agentensystem betrachtet werden, das insofern autonom operiert, als es durch Koordination mehrerer Agenten automatisch einen Vorschlag zur Konfliktlösung generiert. Es fungiert zudem als Assistenzsystem, das den Piloten bei der Wahl einer Handlungsalternative unterstützt, ihm die Handlung aber nicht abnimmt; der Pilot muss die Handlung ausführen, wobei die in amerikanischen Flugzeugen praktizierte Sicherheitskultur vorsieht, dass in einer Notsituation, die durch die Aktivierung von TCAS entstanden ist, der Pilot blind den Anweisungen des technischen Systems folgt und die Kommandos des Fluglotsen ignoriert, weil man unterstellt, dass TCAS nur aktiv wird, wenn der Fluglotse eine kritische Annäherung übersehen hat (vgl. Weyer 2006c).

An Bord russischer Flugzeuge existierte hingegen eine andere Sicherheitskultur (die sich in Übereinstimmung mit den Vorgaben der internationalen Luftfahrtorganisation ICAO befand): Hier hatte der Fluglotse die oberste Autorität, weil er den

Überblick über den kompletten Luftraum besitzt; TCAS hingegen galt als unzuverlässig und lückenhaft, weil beispielsweise Frachtflugzeuge oder kleinere Passagierflugzeuge nicht verpflichtet waren, dieses System als Standardausrüstung an Bord zu haben, man also immer davon ausgehen musste, dass sich weitere Flugzeuge im Luftraum befinden könnten, die von TCAS nicht entdeckt werden konnten.

Ohne hier auf weitere Details eingehen zu können, wird deutlich, dass die Implementation eines neuen Sicherheitssystems (TCAS) parallel zu dem bestehenden System der traditionellen Flugsicherung neuartige Unsicherheiten produziert hat. Diese resultieren zum einen daraus, dass TCAS nicht störungsfrei funktioniert, sondern immer wieder Fehllarme produziert, was den Piloten zu erhöhter Aufmerksamkeit zwingt. Zum anderen ist ein neues Risiko derart entstanden, dass nunmehr im Luftraum zwei miteinander nicht vernetzte Sicherheitssysteme im Einsatz sind, die nach völlig unterschiedlichen Steuerungslogiken operieren: dem Modus der zentralen Kontrolle bzw. dem der dezentralen Selbst-Koordination. (Blickt man zurück in die Geschichte von TCAS, so waren die ursprünglichen Visionen darauf gerichtet, die Flugsicherung ganz abzuschaffen und die TCAS-Kommandos automatisch in den Autopiloten zu übertragen. Aus Kostengründen wurde dann aber eine halberzige Lösung geschaffen.)

Dieses unkoordinierte Nebeneinander zweier technische Systeme, die unterschiedliche Sicherheitsphilosophien enthalten, führt zu neuartigen Entscheidungsproblemen: Früher musste der Pilot die Frage beantworten, ob sich ein anderes Flugzeug auf Kollisionskurs befand (Entscheidung 1. Ordnung); heute muss er die Entscheidung fällen, welchem der beiden technischen Systeme, die ihn vor einer möglichen Kollision warnen, er vertrauen und Folge leisten soll (Entscheidung 2. Ordnung). Trotz hochgradig automatisierter Prozesse erleben wir hier also ein – geradezu paradoxes – Re-entry des menschlichen Entscheiders in Prozesse, die sich auf einem höheren Level der Unsicherheit abspielen als zuvor. Der sich gegenwärtig vollziehende radikale Wechsel der Sicherheitsarchitektur in der Luftfahrt führt so zu kaum lösbaren Konflikten, die sich vermutlich in dem Maße verschärfen werden, wie weiter gehende Konzepte des »Free Flight« umgesetzt werden, in denen der Pilot die volle Zuständigkeit für die autonome Navigation und die Kollisionsvermeidung übernimmt und der Fluglotse nur noch eine Art Monitoring-Funktion besitzt.

## Governance-Modi: Zentrale Steuerung vs. dezentrale Selbstkoordination

Der flächendeckende Einsatz von TCAS hat zu einer Dekonstruktion bestehender sozialer Institutionen geführt, indem es die Autorität des Fluglotsen im Rahmen eines hierarchischen organisierten Systems der zentralen Steuerung des Luftverkehrs unterminiert und die Rollen zwischen Pilot und Fluglotsen neu verteilt hat. Diese Diagnose provoziert jedoch die Frage, ob und inwiefern in hybriden Systemen nicht auch neue Muster sozialer bzw. sozio-technischer Ordnung entstehen, die stabile Verhaltenserwartungen beinhalten und so zumindest mittelfristig den Aufbau neuer Institutionen bewirken können.

Gene Rochlin (1998) gibt in seinen Studien zu den nicht-intendierten Folgen der Informatisierung vieler Bereiche der Gesellschaft einen Hinweis, wie man sich die Governance-Strukturen komplexer, hybrider Systeme vorstellen könnte. Er resümiert die Entwicklung der Steuerungstheorie in folgender Form (wobei die ersten beiden Phasen den »Common sense« der Organisationsforschung abbilden):

1. Die hierarchische, zentrale Kontrolle und die rationale Planung waren das Kennzeichen des in den 1950er und 1960er Jahren vorherrschenden Paradigmas, dessen technische Basis der Großrechner war.
2. In den 1980er und 1990er Jahren etablierte sich ein neues Paradigma einer netzwerkförmigen, dezentralen Selbst-Organisation, das sich vor allem auf die flexibel einsetzbare Technologie des Personal Computers stützte und die Autonomie des individuellen Anwenders erheblich erhöhte.
3. Die zunehmende Vernetzung von Rechnern beispielsweise über das Internet führt nun zu einer neuartigen Mischform der zentralen Kontrolle und Steuerung dezentraler Systeme, etwa in Form von Warenwirtschaftssystemen großer Handelskonzerne. Hiermit gehen, so Rochlin, die Freiheiten und Handlungsspielräume wieder verloren, die in Phase 2 existierten. Die Zentrale hat nunmehr die Möglichkeit, steuernd bis auf die Mikroebene durchzugreifen, was nur auf der Basis einer flächendeckenden Standardisierung von Prozessen möglich ist. (Rochlin prägt hierfür den Begriff »Mikromanagement«.) Die gesellschaftliche Herausforderung besteht somit in der Beantwortung der Frage, ob Steuerungsarchitekturen, die für Logistikprozesse plausibel sein mögen, unbeschadet in den privaten Alltag übertragen werden können.

Rochlin hat mit der Identifikation dieses neuen Mischtyps einen wichtigen Anstoß für die Debatte über künftige Governance-Formen jenseits von Hierarchie und Selbstorganisation gegeben. Es fragt sich allerdings, ob neben dem Re-entry der Hierarchie in die Selbstorganisation nicht auch andere Mischformen denkbar sind,



beispielsweise eine optimierte Selbstorganisation, die in der Lage ist, gesellschaftlich unerwünschte Folgen der dezentralen Koordination nutzenmaximierender Akteure zu vermeiden (das bekannteste Beispiel ist der Verkehrsstau). Avancierte Technik ist insofern gestaltungsoffen, als sie unterschiedliche Steuerungsarchitekturen denkbar macht. In der Praxis der Informationstechnik und in wichtigen Anwendungsgebieten wie dem Luftverkehr wird über diese Frage bereits intensiv nachgedacht; und es werden schon jetzt praktische Lösungen generiert (s.o.), die insofern folgenreich sind, als hier Strukturen künftiger Sozialität technisch präformiert werden.

Generell ergeben sich zwei (sehr unterschiedliche) Optionen der Systemsteuerung, sobald sämtliche Teilnehmer eines Netzwerks in der Lage sind, in Echtzeit elektronisch miteinander zu kommunizieren (vgl. Weyer 2005, 2006a, c):

- Eine zentrale Koordination und Steuerung versucht, ein Gesamtoptimum dadurch zu erreichen, dass aus den verfügbaren Daten, insbesondere aus den Handlungsabsichten der Teilnehmer (z.B. Fahrzeiten und Fahrziele), ein Szenario entwickelt wird, das die Gesamtauslastung des Systems erhöht und die Ressourcen möglichst optimal einsetzt. Unerwünschte Effekte wie beispielsweise Staus im Straßenverkehr oder Verspätungen in der Luftfahrt ließen sich so weitgehend vermeiden, allerdings unter der Einschränkung, dass die individuellen Akteure bereit sein müssten, den Vorgaben zu folgen, das heißt, sich normativ zu integrieren und der Versuchung des Trittbrettfahrens zu widerstehen. Zudem müssten die einzelnen Fahrzeuge elektronisch derart ausgerüstet sein, dass ihre Aktionen in Echtzeit überwacht und gesteuert werden könnten, um beispielsweise zu verhindern, dass ein Autofahrer einen »Slot« nutzt, der ihm nicht zugewiesen wurde bzw. den er nicht auf der Internet-Börse ersteigert hat. Dies beinhaltet also eine totalitäre Kontrolle (Mattern 2003).
- Eine dezentrale Selbstkoordination würde es hingegen den Teilnehmern überlassen, durch individuelle Optimierung (z.B. durch Verwendung eines Navigationssystems mit dynamischer Routenplanung) bzw. durch Aushandlungsprozesse vor Ort (z.B. durch Nutzung des Kollisionsvermeidungssystems TCAS) brauchbare Lösungen zu generieren. In vielen Verkehrs-Bereichen wird momentan mit derartigen Ansätzen experimentiert; so sollen beispielsweise Güterwagen auf Rangierbahnhöfen in Zukunft in der Lage sein, die Weichen selbsttätig zu stellen, und Automated Guided Vehicles (AGVs) in Containerterminals (vgl. Cramer/Weyer 2007) optimieren bereits ihr Routing durch wechselseitige Koordination. Auch in der Luftfahrt zeichnet sich gegenwärtig ein Systemwechsel ab (s.o.): Der traditionelle Modus der hierarchischen, zentralisierten Steuerung des Luftverkehrs durch ATC-Zentren, der seit den 1970er Jahren vorherrschte und den Piloten wenig Entscheidungsfreiheiten ließ, wird seit den 1990er Jahren durch einen neuen Governance-Modus der dezentralen Koordination ergänzt

und schrittweise abgelöst. Dieser beinhaltet eine neue Arbeitsteilung, die dem Fluglotsen immer stärker die Aufgabe des Air Traffic Control and Management (ATM) zuweist, während der Pilot, gestützt auf neue Technologien, eine größere Autonomie in Fragen der Navigation (»Free-Flight«) und der Kollisionsvermeidung erhält, damit zugleich aber auch eine größere Verantwortung übernimmt (Hughes/Mecham 2004).

Die Problematik dieses Governance-Modus der Selbstkoordination besteht allerdings darin, dass die selbstorganisierte Abstimmung individueller, nutzenmaximierender Akteure zu unvorhersehbaren emergenten systemischen Effekten führen kann, die nicht-intendierte Folgen nach sich ziehen können (z.B. die Verlagerung des Straßenverkehrs in Wohngebiete). Auch die eigenständige Abstimmung (teil-)autonomer technischer Systeme kann derartige Effekte hervorbringen (z.B. die spontane, unerwünschte Bildung von Clustern von AGVs im Terminal). Ob es möglich ist, auch in sicherheitskritischen Bereichen Lösungen zu finden, die zumindest das gleiche Niveau an Sicherheit gewährleisten können wie bisher, ist zurzeit eine offene Frage. Und es ist sozialtheoretisch höchst spannend, am Beispiel hochautomatisierter Verkehrssysteme das Problem der Entstehung sozialer Ordnung neu zu diskutieren, ob nämlich soziale Ordnung auf marktförmige Weise durch das Zusammenspiel rationaler Egoisten entsteht, oder ob regulierende Eingriffe staatlicherseits erforderlich sind, die das Verhalten der Akteure durch (weiche oder harte) Eingriffe im Sinne des globalen Optimums steuern.

### Ausblick: Trends und Entwicklungskorridore

Da die Luftfahrt in vielen Dingen Trendsetter und Ideengeber für andere Verkehrssysteme war, drängt sich die Frage auf, ob diese neuartigen Entwicklungen ein Modell bilden, das sich mit einer gewissen Zeitverzögerung auch in anderen Verkehrssystemen durchsetzen wird (vgl. Schaubild 2).

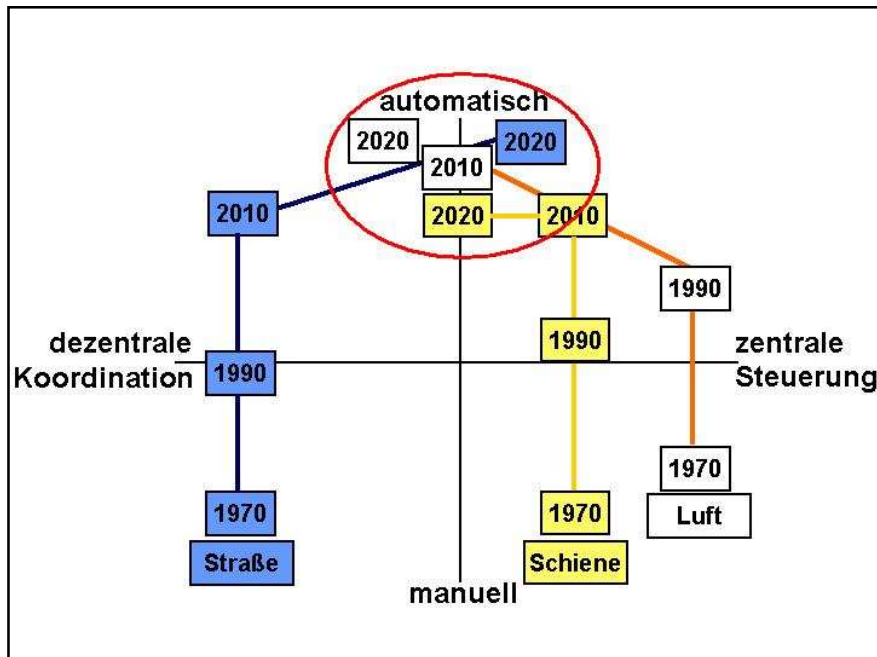


Schaubild 2: Trends und Entwicklungskorridore

Zunächst fällt auf, dass alle Verkehrssysteme in nahezu gleicher Weise dem Trend (auf der vertikalen Achse) von einer manuellen zu immer stärker automatisierten Steuerung gefolgt sind. Die Systemarchitektur unterschied sich jedoch gravierend (horizontale Achse): Schienenverkehr und Luftfahrt waren hochgradig zentral gesteuerte Systeme, die praktisch keinen Raum für individuelle Abweichungen kannten, vollzogen aber neuerdings eine Entwicklung, welche die Entscheidungen (z.B. in Sachen Navigation) von der Zentrale auf die dezentrale Ebene verlagert und so den einzelnen Komponenten (Fahrzeugen) mehr Autonomie einräumt.

Der Straßenverkehr der Vergangenheit (und auch der Gegenwart) ist hingegen das Paradebeispiel für ein hochgradig ungesteuertes bzw. durch dezentrale Interaktion sich selbst steuerndes Verkehrssystem. Betrachtet man jedoch die (spekulative) Extrapolation der Entwicklungen der drei Verkehrssysteme bis in das Jahr 2020, so scheint sich eine gewisse Konvergenz der Systeme abzuzeichnen, die zu neuartigen – und bislang wenig erprobten – Mischformen von zentraler Steuerung und dezentraler Koordination führt.

## Literatur

- Cramer, Stephan/Weyer, Johannes (2007), Interaktion, Risiko und Governance in hybriden Systemen, in: Dolata, Ulrich/Werle, Raymund (Hg.), *Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung*, Frankfurt a.M., S. 267–286.
- Deuten, J. Jaspar (2003), *Cosmopolitanising Technologies. A Study of Four Emerging Technological Regimes*, Twente.
- Herrtwich, R.G. (2003), Fahrzeuge am Netz, in: Mattern, Friedemann (Hg.), *Total vernetzt. Szenarien einer informatisierten Welt*, Heidelberg, S. 63–83.
- Hughes, David/Mecham, Michael (2004), »Free-Flight« Experiments, in: *Aviation Week & Space Technology*, 7. Juni 2004, S. 48–50.
- Luhmann, Niklas (1990), *Die Wissenschaft der Gesellschaft*, Frankfurt a.M.
- Mattern, Friedemann, (Hg.) (2003), *Total vernetzt. Szenarien einer informatisierten Welt* (7. Berliner Kolloquium der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung), Heidelberg.
- Mattern, Friedemann. (2003a), Vom Verschwinden des Computers – Die Vision des Ubiquitous Computing, in: ders. (Hg.), *Total vernetzt. Szenarien einer informatisierten Welt*, Heidelberg, S. 1–41.
- Rammert, Werner (2002), Verteilte Intelligenz im Verkehrssystem. Interaktivitäten zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt, *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Jg. 97, H. 7–8, S. 404–408.
- Rammert, Werner/Schulz-Schaeffer, Ingo (2002), Technik und Handeln. Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt, in: dies. (Hg.), *Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik*, Frankfurt a.M., S. 11–64.
- Rochlin, Gene (1998), *Trapped in the net. The unanticipated consequences of computerization*, Princeton.
- Timpe, Klaus-Peter/u.a. (Hg.) (2002), *Mensch-Maschine-Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*, Düsseldorf.
- Weyer, Johannes (2005), In der hybriden Gesellschaft, *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 1. Sept. 2005, S. 6.
- Weyer, Johannes (2006a), *Die Zukunft des Autos – das Auto der Zukunft. Wird der Computer den Menschen ersetzen?* (Universität Dortmund, Soziologische Arbeitspapiere Nr. 16), <http://www.techniksoziologie-dortmund.de/veroeffentlichung/files/ap14.pdf>
- Weyer, Johannes (2006b), Die Kooperation menschlicher Akteure und nicht-menschlicher Agenten. Ansatzpunkte einer Soziologie hybrider Systeme, in: Getzinger, Günter/Berger, Wilhelm (Hg.), *Intervention und verteiltes Handeln* (im Erscheinen, auch: <http://www.techniksoziologie-dortmund.de/veroeffentlichung/files/ap16.pdf>)
- Weyer, Johannes (2006c), Modes of Governance of Hybrid Systems. The Mid-Air Collision at Ueberlingen and the Impact of Smart Technology, *STI-Studies* 2, S. 127–149, <http://www.sti-studies.de/articles/2006-02/Weyer-011206.pdf>